

Список использованных источников

1. Теплотехнические расчеты металлургических печей: учебное пособие для студентов вузов / Б.Ф. Зобин, М.Д. Казяев, Б.И. Китаев, В.Г. Лисиенко, А.С. Телегин, Ю.Г. Ярошенко. Изд. 2-е. – М.: Металлургия, 1982. – 360 с.
2. Тепловая работа и конструкция печи с шагающим подом для нагрева медных слэбов / М.В. Иванова, М.Д. Казяев // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве: сборник докладов VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (ТИМ'2017) с международным участием (11–12 мая 2017 г.). – Екатеринбург: УрФУ, 2017. С. 47–51.
3. Проходная печь с шагающим подом для нагрева слитков из меди и ее сплавов / Д.И. Спитченко, А.М. Вохмяков, М.Д. Казяев [и др.] // Цветные металлы. 2014. №10. С. 83-87.

УДК 519.6

Ю. А. Каграманов, Е. К. Киктев, В. Г. Тупоногов, А. Ф. Рыжков

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ГОРЯЧЕЙ СУХОЙ СЕРООЧИСТКИ СИНТЕЗ ГАЗА

Аннотация

Проведен расчет шести вариантов схем реакционного систем горячей сухой сероочистки синтез газа с различными параметрами и характеристиками сорбента, кипящего слоя. Ключевым узлом в теплотехнических приборах является горячая система сухой сероочистки синтез-газа, которая использует синтетические горючие газы как в парогазовой установке с внутри цикловой газификацией твердого топлива. В вариантах схем использован пузырьковый кипящий слой различной высоты и циркуляционный кипящий слой с различными диаметрами частиц и температурами в слое. Поток неочищенного синтез газа поступает в реактор горячей сероочистки, где взаимодействует с частицами потока сорбента, продуктами реакций является очищенный синтез газ и отработанный сорбент. В программе Aspen Plus выполнен расчет вариантов схем и проведен сравнительный анализ результатов расчета. На основе анализа была выбрана наиболее оптимальная схема работы системы сероочистки. Написана собственная программа расчета реактора. Результаты расчета в Aspen и в собственной программе согласуются. Анализы всех вариантов показали, что схемы с ЦКС заметно снижают массовый расход сероводорода на выходе из системы очистки, за счет возможности увеличения циркулирующего сорбента в системе.

Ключевые слова: реакционный блок ГССО, Aspen plus, расчет реактора, газ, сорбент.

Abstract

Calculation of six variants of schemes of the reaction system for hot dry desulphurization of gas synthesis with different parameters and characteristics of the sorbent, fluidized bed is carried out. The key node in heat engineering devices is the hot dry desulfurization system of synthesis gas, which uses synthetic combustible gases as in a combined cycle gas turbine with internal cycling gasification of solid fuel. In the variants of the schemes, a bubbling fluid bed of various heights and a circulating fluidized bed with different particle diameters and temperatures in the bed are used. The crude synthesis gas

stream enters the hot desulphurization reactor where it interacts with the sorbent flow particles, the reaction products are purified synthesis gas and spent sorbent. In the program Aspen Plus, the calculation options for the schemes were performed and a comparative analysis of the calculation results was carried out. On the basis of the analysis, the most optimal scheme of the desulphurization system was selected. Its own program for calculating the reactor has been written. The calculation results in Aspen and in its own program are consistent. Analyzes of all the variants showed that the schemes with the CCS significantly reduce the mass flow of hydrogen sulphide at the outlet from the purification system, due to the possibility of increasing the circulating sorbent in the system.

Key words: reaction unit HSDC, Aspen plus, reactor design, gas, sorbent.

Введение. Горячая система сухой сероочистки синтез газа (ГССО) является ключевым узлом в теплотехнических установках, использующих синтетические горючие газы, например, в парогазовой установке с внутрицикловой газификацией твердого топлива [1-3]. Для технологического расчета таких систем требуется объединение знаний в области тепломассообмена, гидродинамики и кинетики гетерогенных химических реакций в одном расчетном блоке. Такого рода расчеты позволяет проводить программный комплекс Aspen Plus [4-6]. Авторами также разработана собственная программа расчета системы ГССО, результаты расчетов по которой приведенные данной статье, являются более подробными, так как учитывают гидродинамику многофазного потока и кинетику химической реакции, чего не было проведено ранее в [4].

Расчет схем газоочистки. Расчеты по программе Aspen Plus и собственной программе были выполнены для шести вариантов схем газоочистки.

1. Стандартной схемы.
2. Схема с увеличенным слоем.
3. Схема с увеличенным расходом сорбента.
4. Схема с уменьшенной температурой.
5. Схема с циркуляционным кипящим слоем.
6. Схема с циркуляционным кипящим слоем и увеличенными частицами.

Состав синтез газа на входе в реактор, приведенный в табл. 1, был одинаков для всех шести расчетных схем.

Таблица 1

Состав синтез газа

Компонент	N ₂	CO	H ₂	H ₂ O	H ₂ S
Объемное содержание, %	47	31	17	4	1

Исходные данные для расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные

№	Наименование	Ед. изм.	Величина
1	Диаметр реактора	м	2
2	Высота реактора	м	2 – 25
3	Диаметр частиц	мкм	80 – 500
4	Расход газа	кг/с	70
5	Массовое содержание сероводорода в газе		0,01
6	Предэкспоненциальный множитель		0,13
7	Энергия активации	Дж/моль	32587

Поток неочищенного синтез газа (RAW) поступает в реактор горячей сероочистки (HGD), где взаимодействует с частицами потока сорбента (SIND), продуктами реакций является очищенный синтез газ (CLEAN) и отработанный сорбент (SOUTD), как показано на рис. 1, а. Концентрация твердой фазы возрастает по высоте слоя и резко падает в надслоевом пространстве, что видно из рис. 1, б.

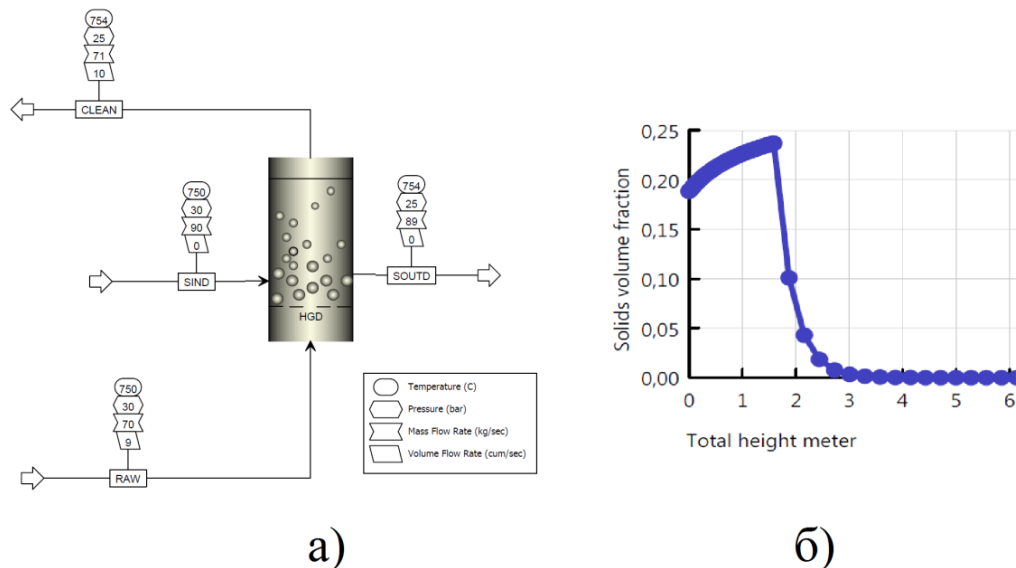


Рис. 1. Схема стандартной системы (а) и график распределения объемной доли твердой фазы по высоте реактора (б)

Сравнение массовых потоков очищенного синтез газа, полученные в Aspen и в собственной программе, представлено в табл. 3.

Таблица 3

Массовые потоки очищенного синтез газа

Схема №1	Ед. изм.	RAW	CLEAN	SIND	SOUTD	CLEAN Код автора
Масс. расходы	kg/sec	70	71,25005	90	88,74996	70,811
ZnO	kg/sec	0	1,369062	90	87,96626	1,4
ZnS	kg/sec	0	0,012197	0	0,783702	0,011
H ₂ O	kg/sec	2,169238	2,316364	0	0	2,32
H ₂ S	kg/sec	1,025958	0,74762	0	0	0,73
H ₂	kg/sec	1,03162	1,03162	0	0	1,12
O ₂	kg/sec	0	0	0	0	0
N ₂	kg/sec	39,63429	39,63429	0	0	40,11
CO	kg/sec	26,13889	26,13889	0	0	25,12
SO ₂	kg/sec	0	0	0	0	0
Схема №2	Ед. изм.	RAW	CLEAN	SIND	SOUTD	CLEAN Код автора
Масс. расходы	kg/sec	70	71,23632	90	88,76369	71,246

ZnO	kg/sec	0	1,625398	90	86,15424	1,65
ZnS	kg/sec	0	0,04923	0	2,609455	0,051
H ₂ O	kg/sec	2,169238	2,660711	0	0	3,01
H ₂ S	kg/sec	1,025958	0,096175	0	0	0,085
H ₂	kg/sec	1,03162	1,03162	0	0	1,15
O ₂	kg/sec	0	0	0	0	0
N ₂	kg/sec	39,63429	39,63429	0	0	38,2
CO	kg/sec	26,13889	26,13889	0	0	27,1
SO ₂	kg/sec	0	0	0	0	0
Схема №3	Ед. изм.	RAW	CLEAN	SIND	SOUTD	CLEAN Код автора
Масс. расходы	kg/sec	70	71,77563	180	178,2244	71,003
ZnO	kg/sec	0	2,183617	180	175,5832	2,15
ZnS	kg/sec	0	0,032846	0	2,641146	0,033
H ₂ O	kg/sec	2,169238	2,66354	0	0	2,15
H ₂ S	kg/sec	1,025958	0,090822	0	0	1,05
H ₂	kg/sec	1,03162	1,03162	0	0	1,02
O ₂	kg/sec	0	0	0	0	0
N ₂	kg/sec	39,63429	39,63429	0	0	39,5
CO	kg/sec	26,13889	26,13889	0	0	25,1
SO ₂	kg/sec	0	0	0	0	0
Схема №4	Ед. изм.	RAW	CLEAN	SIND	SOUTD	CLEAN Код автора
Масс. расходы	kg/sec	70	70,23748	180	179,7625	69,34189
ZnO	kg/sec	0	0,386528	180	178,8484	0,41
ZnS	kg/sec	0	0,001976	0	0,914128	0,00189
H ₂ O	kg/sec	2,169238	2,338585	0	0	2,5
H ₂ S	kg/sec	1,025958	0,705583	0	0	0,71
H ₂	kg/sec	1,03162	1,03162	0	0	1,02
O ₂	kg/sec	0	0	0	0	0
N ₂	kg/sec	39,63429	39,63429	0	0	38,8
CO	kg/sec	26,13889	26,13889	0	0	25,9
SO ₂	kg/sec	0	0	0	0	0
Схема №5	Ед. изм.	RAW	CLEAN	SIND	SOUTD	CLEAN Код автора
Масс. расходы	kg/sec	3080,582	70	2971,137	179,4445	70,33
ZnO	kg/sec	3037,327	0	2858,308	176,7683	0
ZnS	kg/sec	43,25468	0	43,27391	2,676218	0

H ₂ O	kg/sec	0	2,169238	2,667508	0	2,15
H ₂ S	kg/sec	0	1,025958	0,083316	0	1,15
H ₂	kg/sec	0	1,03162	1,03162	0	1,03
O ₂	kg/sec	0	0	0	0	0
N ₂	kg/sec	0	39,63429	39,63429	0	38,9
CO	kg/sec	0	26,13889	26,13889	0	27,1
SO ₂	kg/sec	0	0	0	0	0
Схема №6	Ед. изм.	RAW	CLEAN	SIND	SOUTD	CLEAN Код автора
Масс. расходы	kg/sec	70	69,83447	180	2096,314	67,44
ZnO	kg/sec	0	0	180	2015,102	0
ZnS	kg/sec	0	0	0	11,37824	0
H ₂ O	kg/sec	2,8	2,985603	0	2,985603	3,01
H ₂ S	kg/sec	0,7	0,348871	0	0,348871	0,33
H ₂	kg/sec	11,9	11,9	0	11,9	12,1
O ₂	kg/sec	0	0	0	0	0
N ₂	kg/sec	32,9	32,9	0	32,9	30,5
CO	kg/sec	21,7	21,7	0	21,7	21,5
SO ₂	kg/sec	0	0	0	0	0

Заключение. Расчеты всех вариантов схем показали, что схемы с ЦКС заметно снижают массовый расход сероводорода на выходе из системы очистки, за счет возможности увеличения циркулирующего сорбента в системе. В стандартной схеме мольная концентрация сероводорода на выходе из реактора составляла 0,0072, увеличение слоя с 2 м до 25 м позволило сократить мольную концентрацию сероводорода на выходе из реактора до 0,00093. Схемы с циркуляционным кипящим слоем обеспечили очистку до концентрации 0,00081. Изменение диаметра частиц не оказало значительного влияния на эффективность очистки. Наиболее благоприятным габаритом реактора ГССО является диаметр 2 м и высота 30 м, что соответствует данным обзора [4]. Результаты расчета в собственной программе различаются от результатов расчета в Aspen всего на 6–9 %.

Список использованных источников

1. AspenTech. Reaction In Fluidized Beds. Burlington: AspenTech, 2013.
2. Gangwal S.K. Engineering Evaluation of Hot-Gas Desulfurization, Raleigh, 1998.
3. Giuffrida A. Thermodynamic analysis of air blown gasification for IGCC plants // Applied Energy. Vol. 88. 2011. Pp. 3949-3958.

4. Giuffrida A. Thermodynamic assessment of IGCC power plants with hot fuel gas desulfurization // Applied Energy, Vol. 87, 2010. pp. 3374-3383.

5. Kishore K.A. Simulation of Biomass Gasification in Fluidized Bed Using Aspen Plus // 6th International Conference on Chemical, Biological and Environment Sciences (ICCEBS'2015). Dubai. 2015.

6. Ayala R.E. Enhanced durability of high temperature desulfurization sorbents for moving bed applications option 2 program: development and testing of zinc titanate sorbents, 1993.

УДК 621.746.584

К. Сейдуба, М. Д. Казяев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ИЗМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ И ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПЛАВЛЕНИЯ ВТОРИЧНОГО АЛЮМИНИЯ

Аннотация

Наряду с производством металлов из руд в промышленно развитых странах постоянно увеличивается доля металлов, получаемых в результате переработки металлического лома и отходов металлургического производства. Производство металлов из вторичного сырья не только значительно дешевле, чем из руд, но и позволяет более экономно расходовать не возобновляемые запасы рудного сырья, значительно снизить загрязнение окружающей среды. Единственным недостатком этого вида металлургии является получение металлов, сильнее загрязнённых другими металлами из-за невозможности полного предварительного разделения металлолома на отдельные металлы. Получаемые из вторсырья металлы либо используют для изготовления неответственной продукции, либо их подвергают дополнительной технологической обработке (рафинированию) для освобождения основного металла от металлов-примесей.

Крупный потребитель алюминия – электротехническая промышленность: провода, кабели, обмотки моторов и трансформаторов, конденсаторы и др. В последние годы интенсивно развивается индустрия строительных конструкций из алюминиевых сплавов. Алюминий широко применяется в металлургии в качестве активного химического элемента-восстановителя для раскисления стали и в алюмотермических способах получения многих металлов и сплавов. По прогнозам ряда международных компаний в ближайшие два десятилетия продолжится наращивание объемов производства алюминия. Предполагается, что темп роста производства алюминия будет составлять порядка 3 % в год.

В сложившихся условиях предприятия алюминиевой промышленности необходимо не только увеличивать свои мощности, сколько повышать качества выпускаемой продукции.

Ключевые слова: отражательная печь, вторичный алюминий, система отопления, рекуперативная горелка REKUMAT M-300, тепловой баланс.

Abstract

Along with production of metals from ores in industrialized countries the share of the metals received as a result of processing of metal scrap and waste of metallurgical production constantly increases. Production of metals from secondary raw materials not only is much cheaper, than from ores, but also allows to spend more economically not renewable reserves of ore raw materials, to considerably